

# Geometrische Kamerakalibration mittels diffraktiv optischer Elemente

Adrian Schischmanow, Martin Scheele, Martin Bauer



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

NEMO-Anwenderforum Industrielle Bildverarbeitung, Dresden, 3. April 2007



# Gliederung

- Motivation
- Herkömmliche Kalibriermethoden
- Kalibration mittels diffraktiv optischer **E**lemente
- Zusammenfassung
- Ausblick



## Motivation

- Qualität der Abbildung eines opto-elektronischen Sensors (=Kamera) durch den Design- und Herstellungsprozess bestimmt
- Geometrische Abbildungsfehler = Abweichungen zwischen realer und idealer Abbildungsgeometrie
- Einflussfaktoren
  - Objektiv (z.B. Verzeichnung)
  - Sensor (z.B. Verkippung Bildebene)
  - Verkippung Objektiv - Sensor
  - Fokuseinstellung (Objektentfernung)
  - Wellenlänge des Lichts (chromatische Fehler)



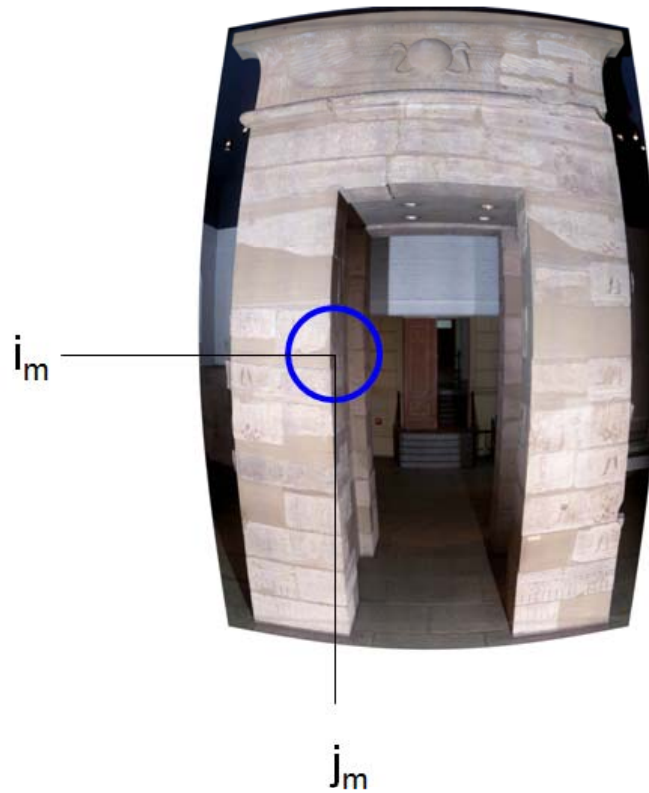
# Motivation

- Geometrische Kalibration = Geometrische Abbildungsfehler erfassen und korrigieren
- Wesentliche Voraussetzung zur Verwendung einer Kamera für Vermessungsaufgaben
- Anwendungsbereiche - Beispiele
  - Qualitätskontrolle / Produktion
  - Robotik
  - Kriminologie
  - Astronomie / Fernerkundung
  - Verkehr
  - Biologie
  - Militär



## Motivation

Unkorrigiertes Bild



Korrigiertes Bild /  
Ideale Abbildung

$$i_k = i_m + \Delta ij$$



$$j_k = j_m + \Delta'ij$$



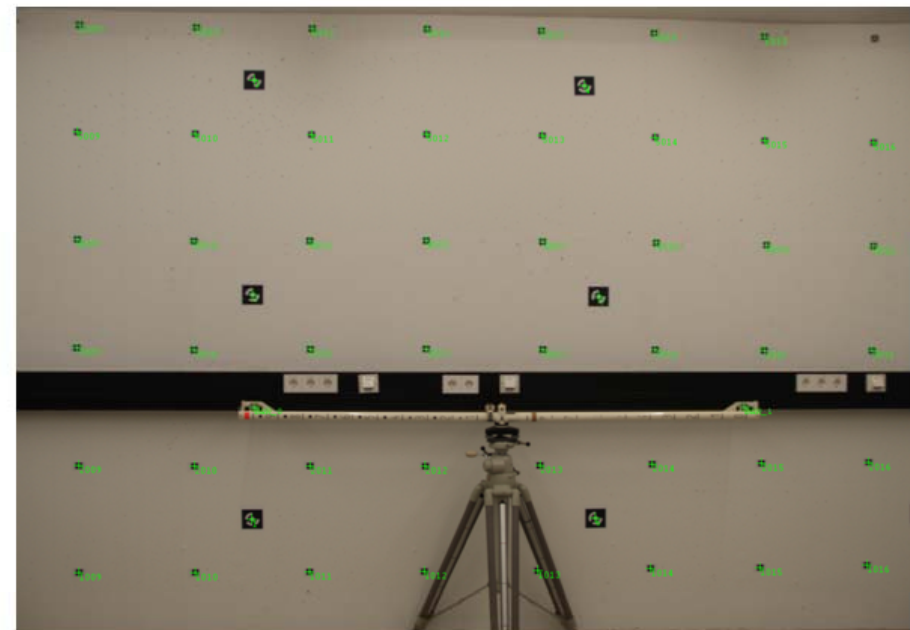




# Herkömmliche Kalibriermethoden

## Testfeldkalibrierung

- Etabliertes Verfahren
- Basiert auf Modellannahmen
- z.B. „Zentralperspektive“
- Aufnahmen aus verschiedenen Richtungen
- Bestimmung von Parametern  
z.B. „Innere Orientierung“
- Ergebnisse durch Testumgebung beeinflusst
- z.t. sehr große Abmaße

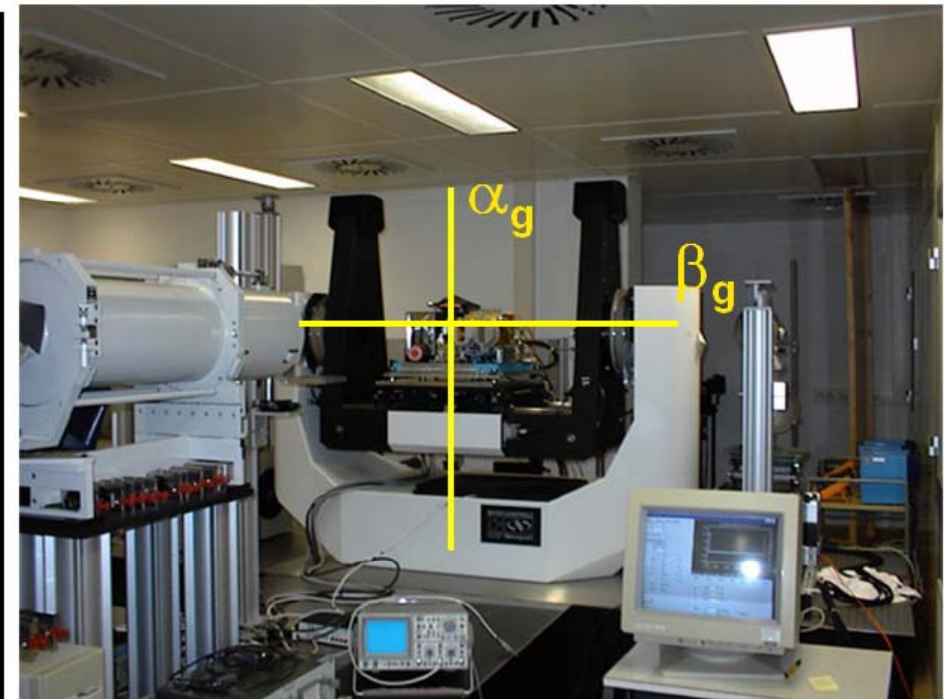
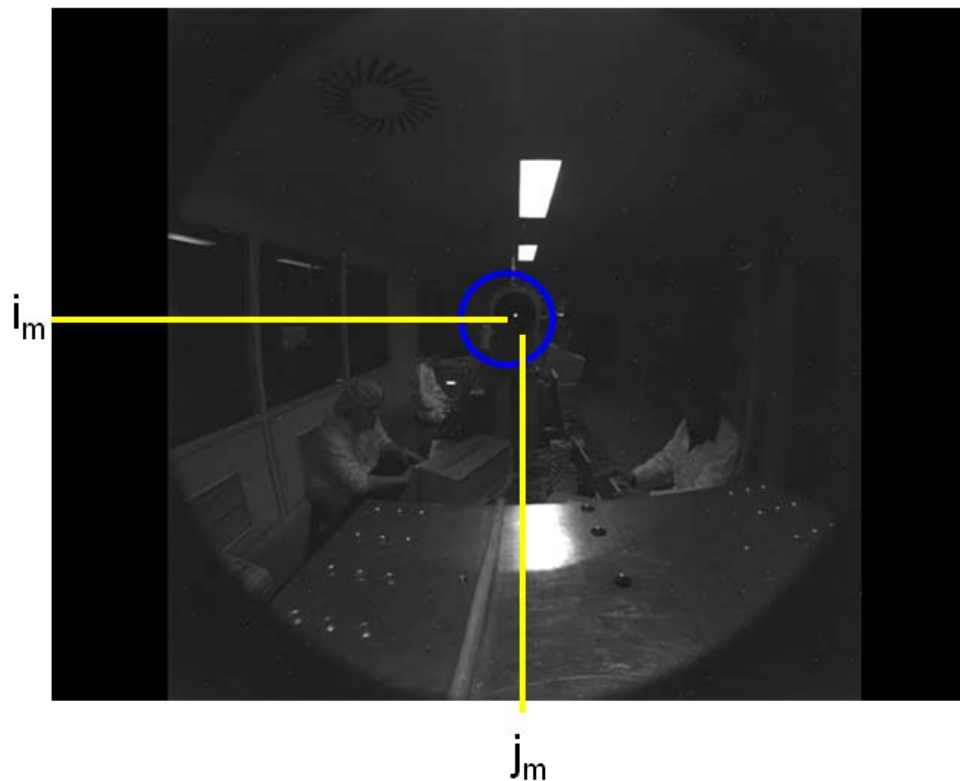




# Herkömmliche Kalibriermethoden

## Einzelpixelvermessung

- Bestimmung der „Pixelblickrichtung“  $\alpha_g, \beta_g$



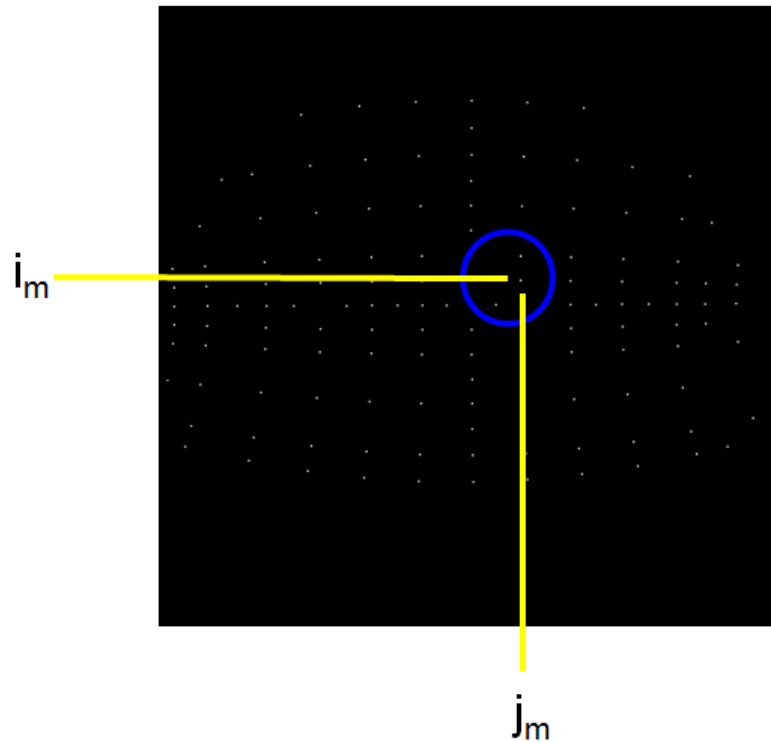
Kollimator-Manipulator-Vorrichtung



# Herkömmliche Kalibriermethoden

Einzelpixelvermessung - Bestimmung der  $\Delta_{ij}$ ,  $\Delta'_{ij}$  für die Messpunkte

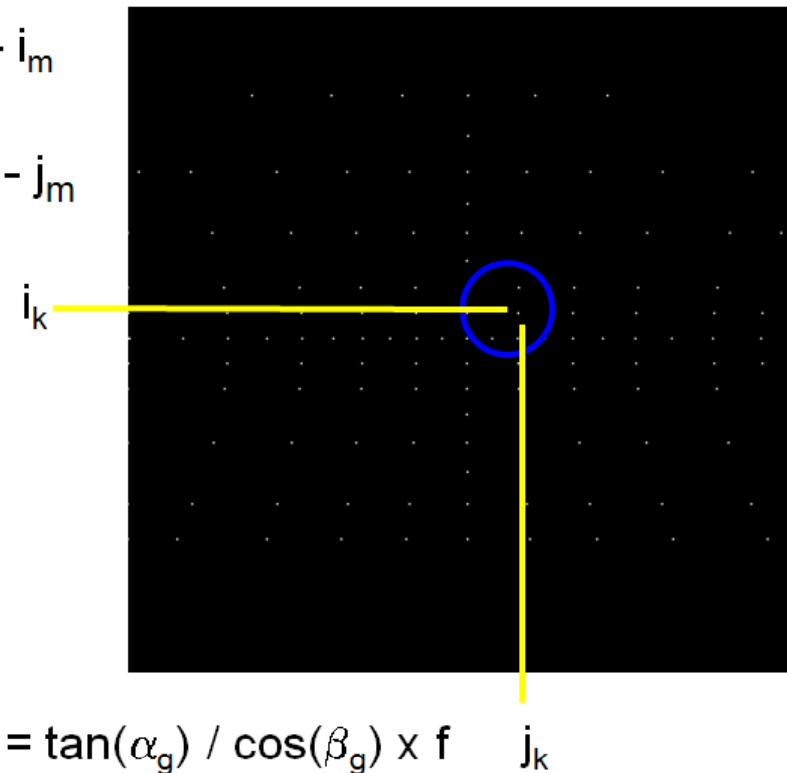
Zusammengesetztes Bild  
aller Einzelpixelmessungen



$$\Delta_{ij} = i_k - i_m$$

$$\Delta'_{ij} = j_k - j_m$$

Ideale Abbildung



$$i_k = \tan(\alpha_g) / \cos(\beta_g) \times f$$

$$j_k = \tan(\beta_g) \times f$$



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft





# Herkömmliche Kalibriermethoden

## Einzelpixelvermessung

- Bestimmung der  $\Delta_{ij}$ ,  $\Delta'_{ij}$  für alle Bildpunkte z.B. mittels Polynominterpolation
- Bildkorrektur





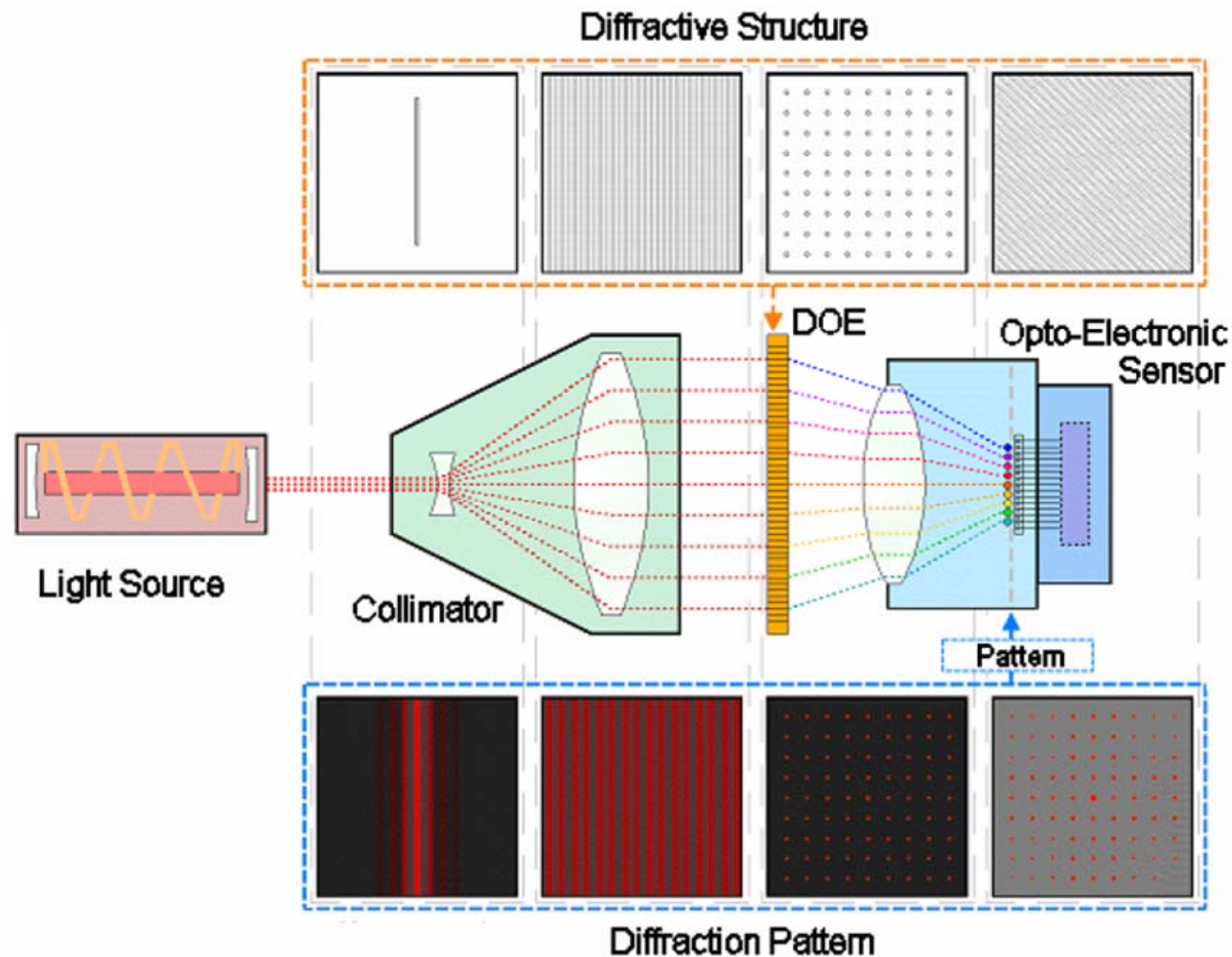
# Herkömmliche Kalibriermethoden

## Einzelpixelvermessung

- hochgenau
- Nur wenige Pixel gemessen
- Verfahren für Spezi alsensoren
- hoher technischer & Personalaufwand
- immobil

# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente (DOE)

## Frauenhofer'scher Beugung

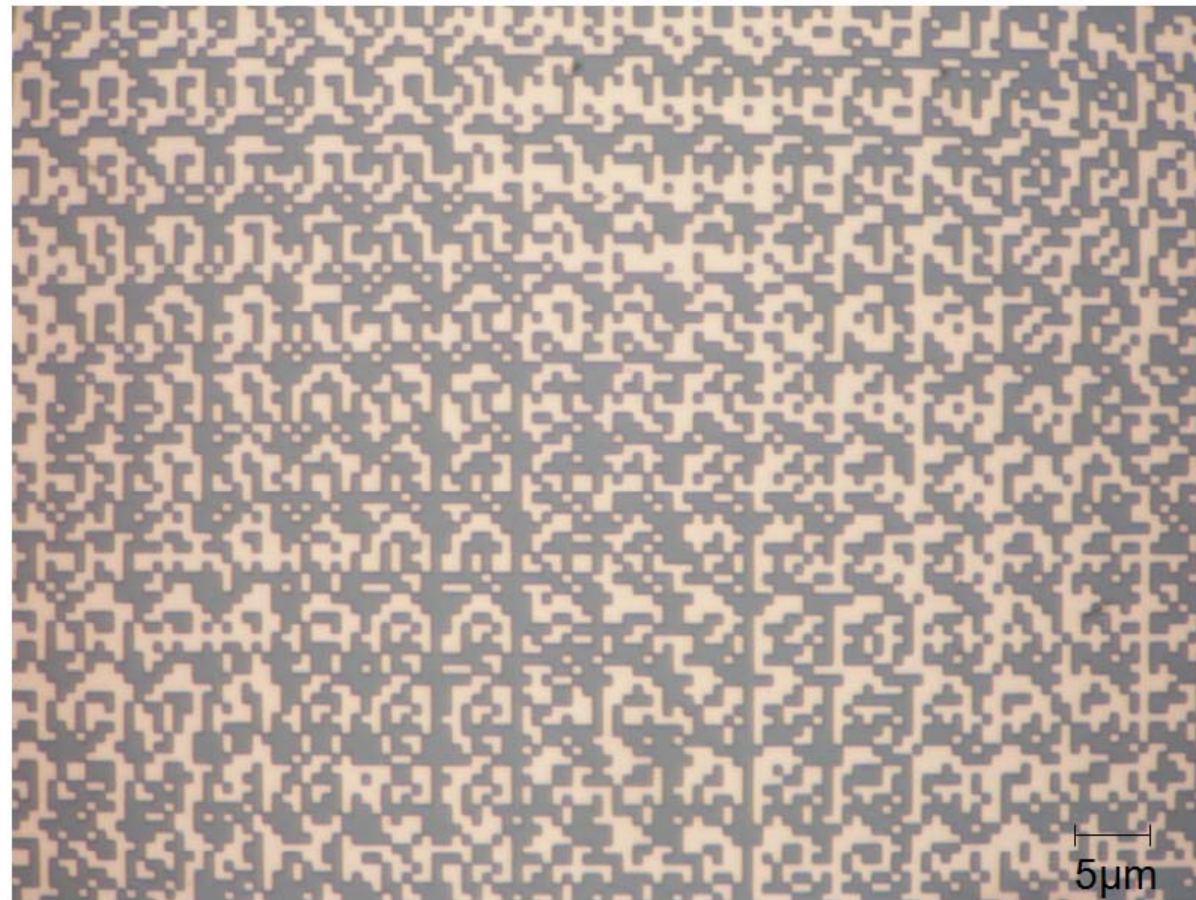






# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

Diffraktive Strukturen zur Lichtformung



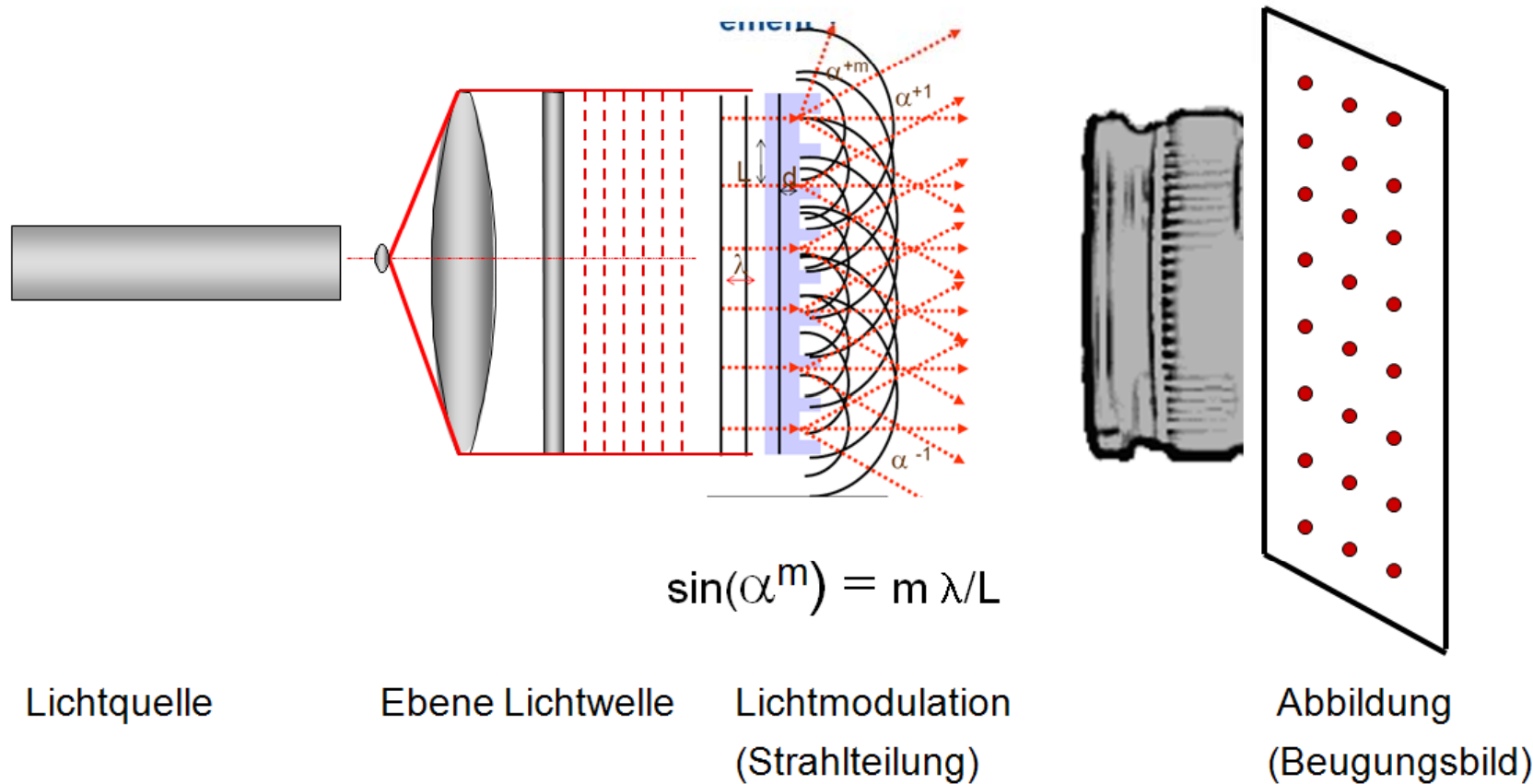
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

## Messanordnung

Laser      Aufweiter & Kollimator      Diffraktives Element      Bildebene des Sensors

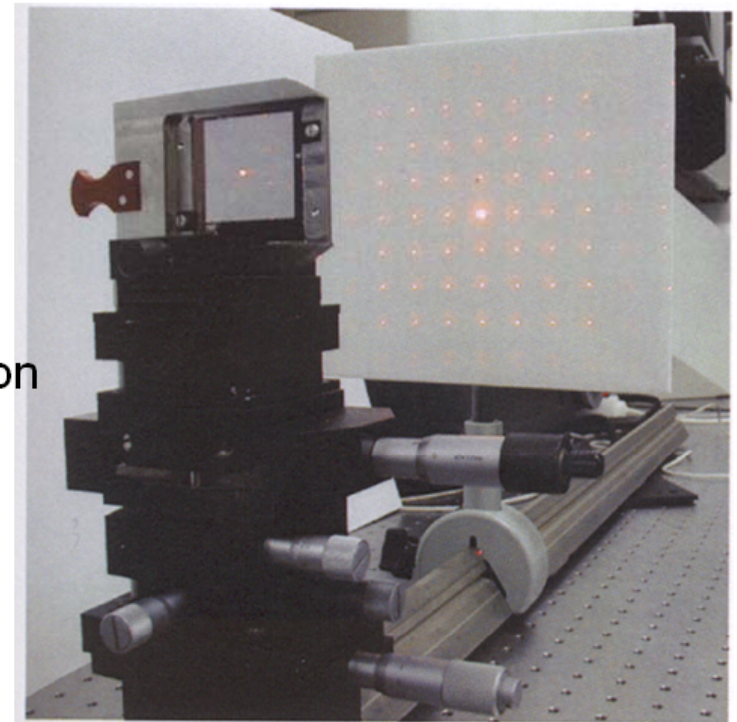




# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

## Kalibrationsrelevante Eigenschaften

- holographisch erzeugte Beugungsmuster
- Beugung an periodischen Mikrogitterstrukturen
- Rotationsvarianz, Translationsinvarianz
- Beugungswinkel  $\alpha_b, \beta_b$  sind hochgenau bekannt
- Beugungswinkel sind Winkeln  $\alpha_g, \beta_g$  der Einzelpixelvermessung äquivalent
- Beugungswinkel als Eichnormale für die Kalibration
- Beugungswinkel sind wellenlängenabhängig
- Monochromatische Beleuchtung erforderlich
- Geometrische Kalibration für verschiedene Spektralbereiche möglich
- Beugungsmuster prinzipiell skalierbar
- Fern- und Nahfeldkalibration möglich





# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

## Kalibrationsschritte

- Analog zum Verfahren der Einzelpixelvermessung
- Extraktion der Messwerte (Beugungspunkte) - Punktdetektion & Schwerpunktbestimmung
- Berechnung der idealen Orte  $i_k, j_k$  aller Messpunkte  $i_m, j_m$  in der Bildebene
- Bestimmung der  $\Delta ij$ ,  $\Delta'ij$  für die Messpunkte
- Interpolation & Bildkorrektur



# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

## Beispiel - Beugungsbild

Digitale

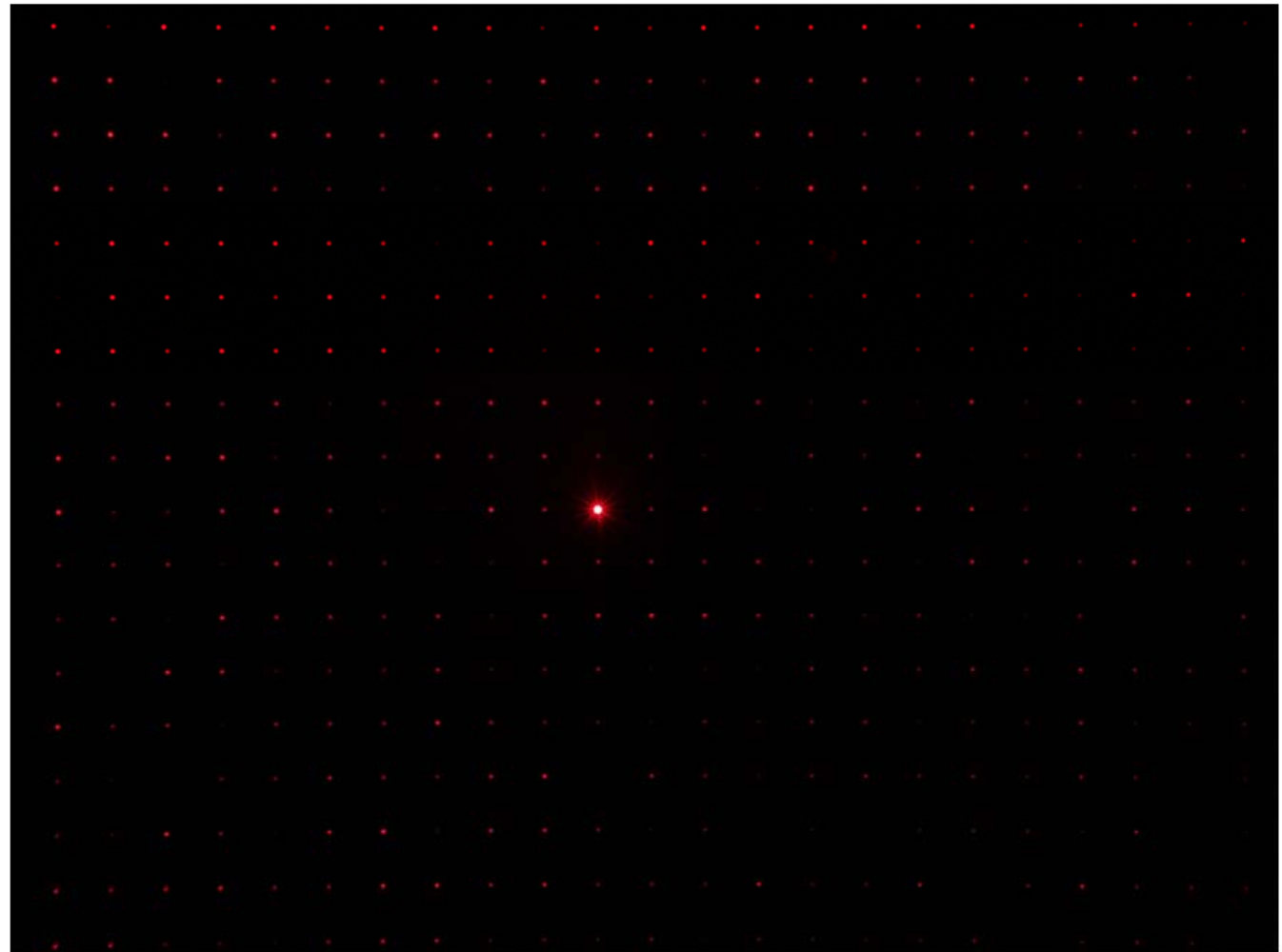
Spiegelreflexkamera:

Olympus E1

2500 x 1900 Pixel

$f = 50\text{mm}$

Passpunktanzahl: ca 200

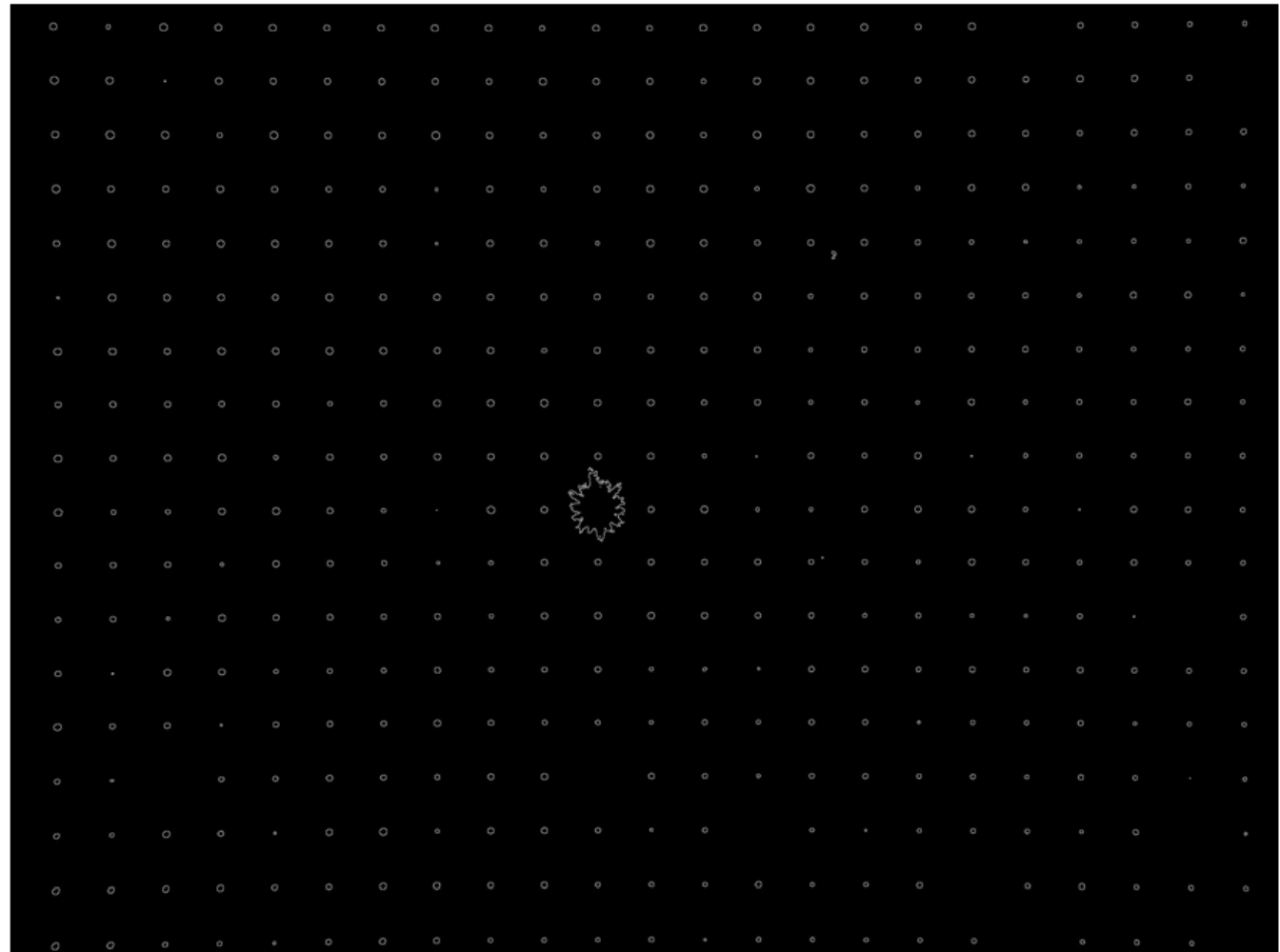


Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

Beispiel – Bildverarbeitung (Punktdetektion / Schwerpunktbestimmung)



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

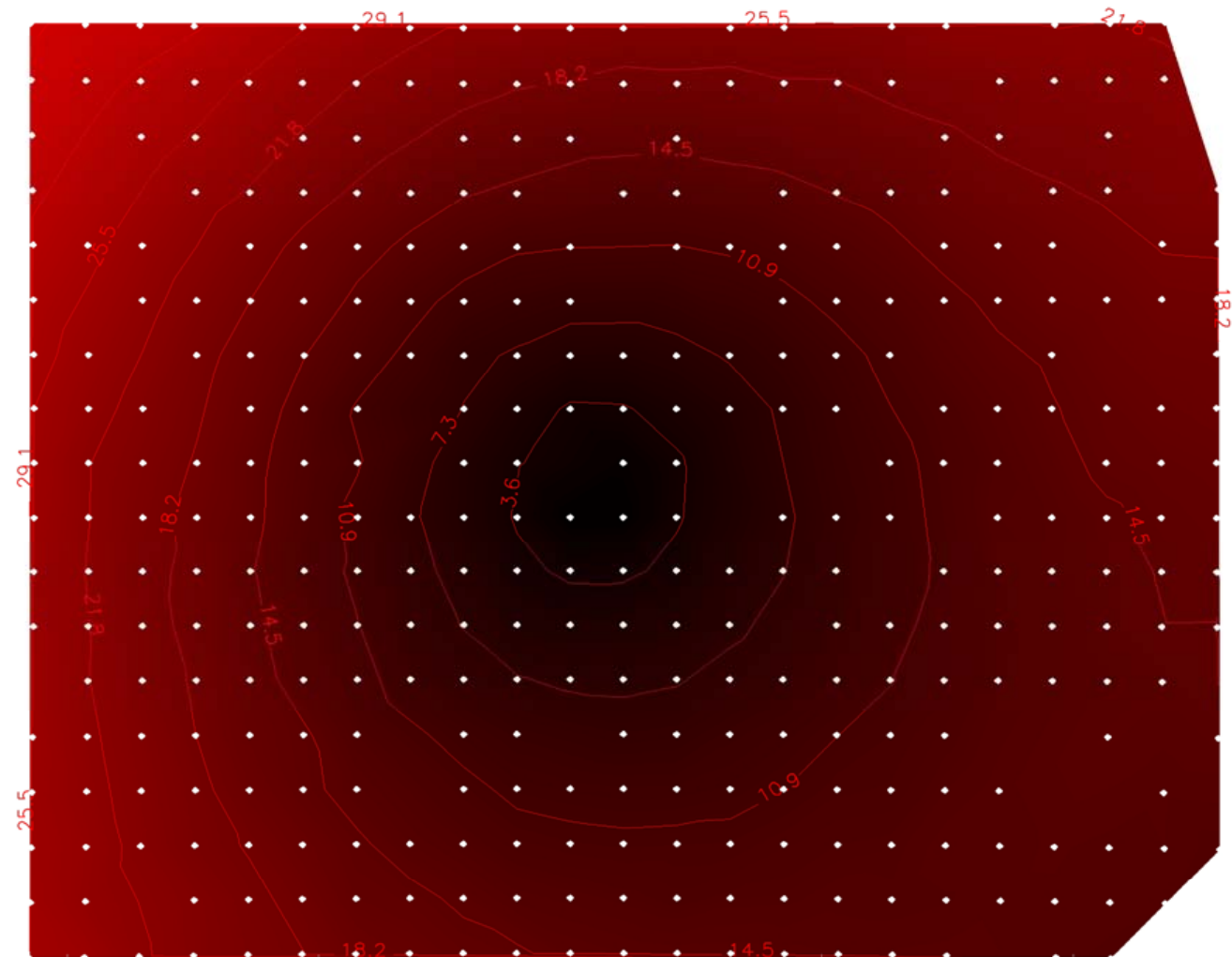


# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

Abbildungsfehler  $\Delta_{ij}$ ,  $\Delta'_{ij}$

Maximaler  
Abbildungsfehler  $\Delta_{ij\_max}$ ,  
 $\Delta'_{ij\_max}$

Bildrand ca. 30 Pixel



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

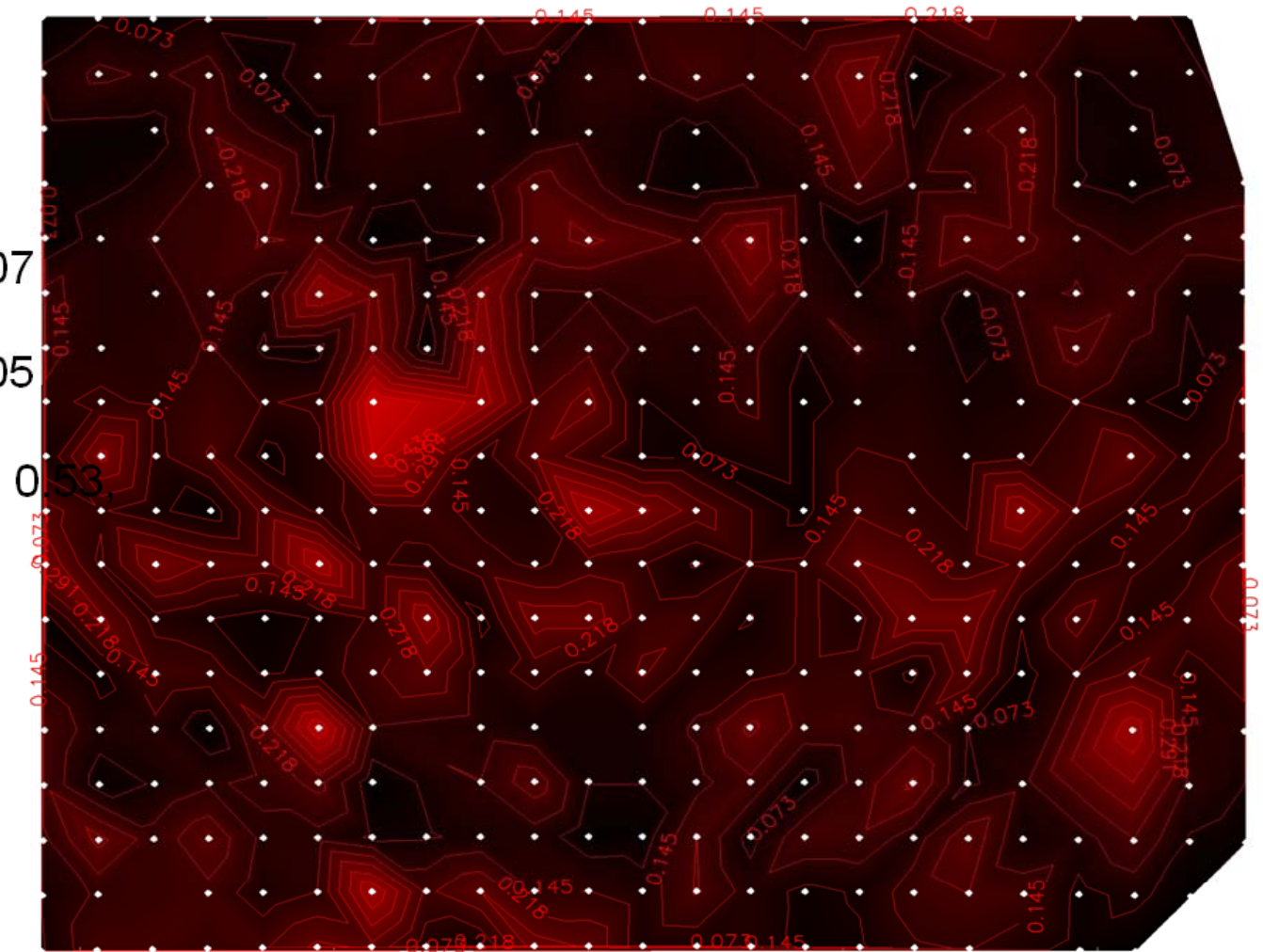




# Kalibrierung mittels diffraktiv optischer Elemente

Restfehler nach Bildkorrektur

$x$  ,  $y$   
 Stdev (Pixel): 0.12, 0.07  
 Mittelwert (Pixel): 0.08, 0.05  
 Maximal (Pixel): :  
 0.21



Deutsches Zentrum  
 für Luft- und Raumfahrt e.V.  
 in der Helmholtz-Gemeinschaft



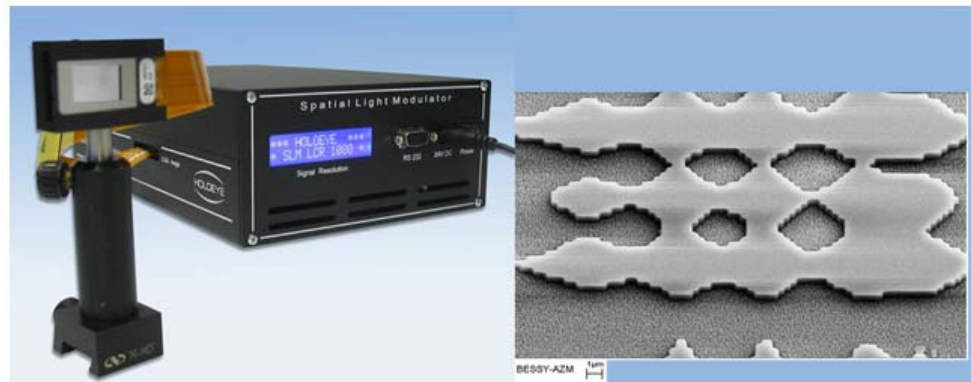
# Zusammenfassung

- Geometrische Kalibration opto-elektronischer Sensoren mittels diffraktiv optischer Elemente (DOE)
- skalierbare holographische Passpunktfelder als Eichnormale (Anzahl, Dichte, Muster, Winkel)
- Fernfeldkalibration
- Matrixsensoren variabler Abbildungsmaßstäbe
- Transformationsgenauigkeit Subpixelbereich
- Geringe Abmaße
- Geringerer manueller Aufwand
- Zeitersparnis



## Ausblick

- Zeile
- Nahfeldkalibration
- Multispektral
- Dynamische Beugungsmuster (**Spatial Light Modulator - SLM**)

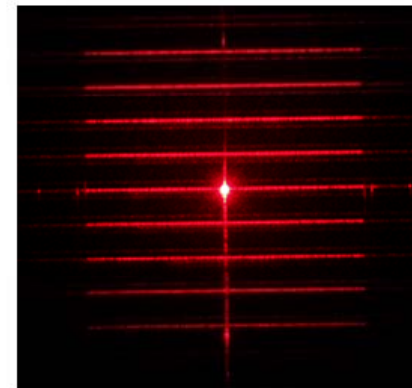
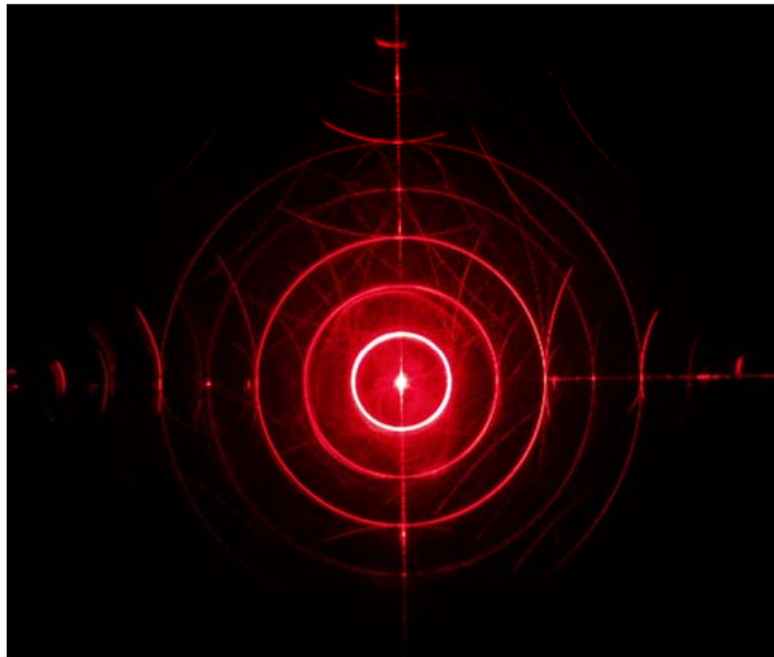


SLM - beugende Substruktur nach BESSY-AZM (Daniel Schondelmaier)



# Ausblick

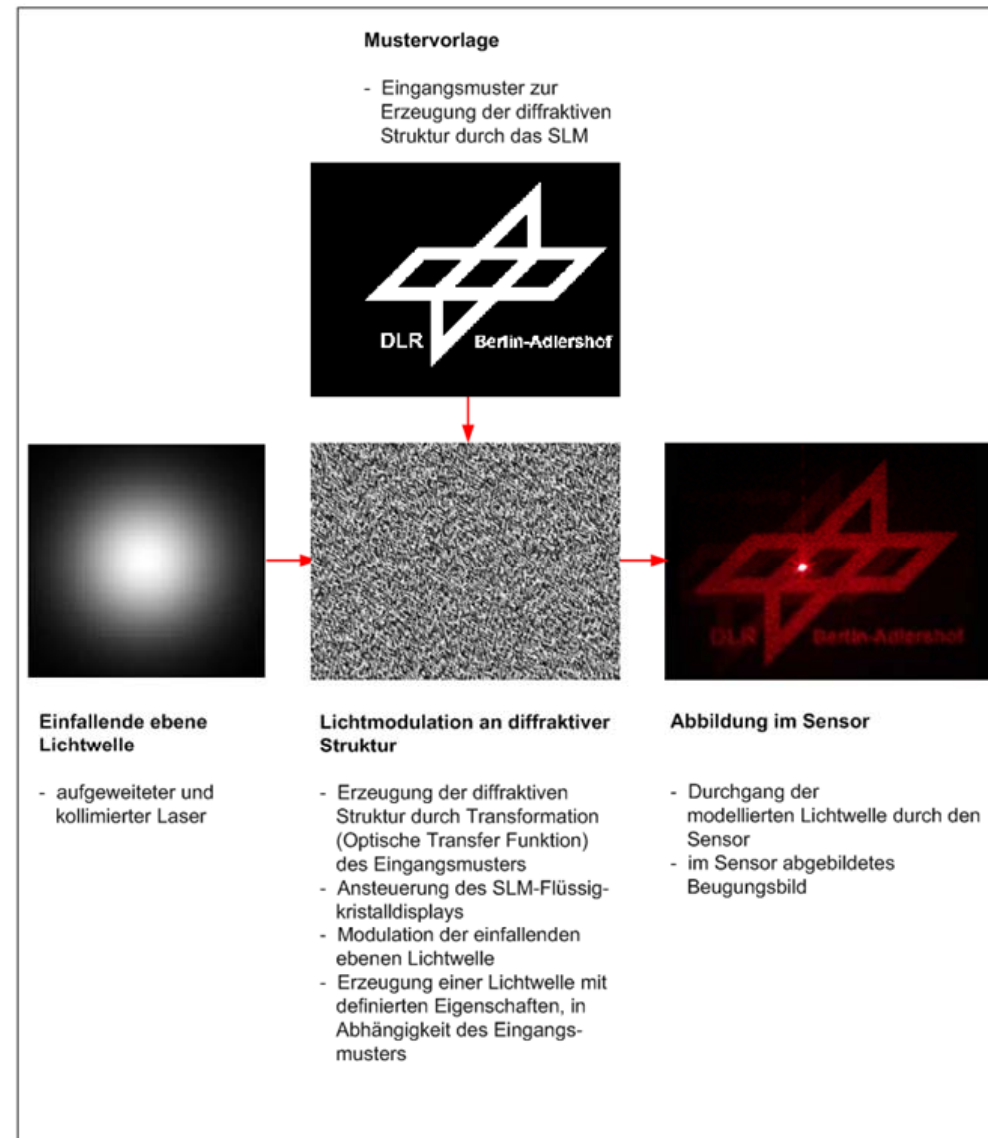
Dynamische Lichtmodulation mittels SLM - Beispiele für Beugungsmuster





# Ausblick

## Dynamische Lichtmodulation mittels SLM







## Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten entstanden im Rahmen des Projektes DIOPTER. Dieses Projekt wurde gefördert aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung und der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Arbeit und Frauen des Landes Berlin in Zusammenarbeit mit der Firma HoloEye Photonics AG.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

Kontakt: [adrian.schischmanow@dlr.de](mailto:adrian.schischmanow@dlr.de)